

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-176810

(43)Date of publication of application : 29.06.2001

(51)Int.Cl. H01L 21/22  
H01L 21/31

(21)Application number : 11-355815

(71)Applicant : SEMICONDUCTOR LEADING EDGE  
TECHNOLOGIES INC

(22)Date of filing : 15.12.1999

(72)Inventor : MINAMI SHINJI

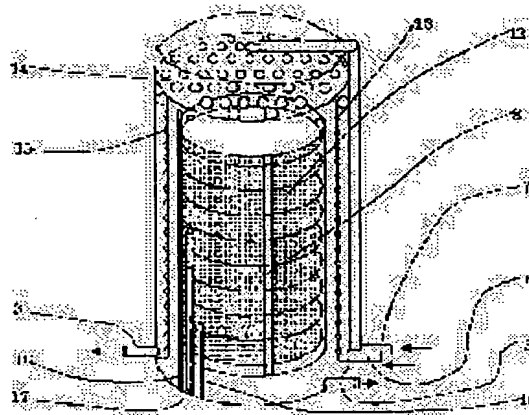
## (54) SEMICONDUCTOR WAFER THERMAL PROCESSOR

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To perform a thermal process by a thermal processor which thermally processes a semiconductor wafer without shortening the lifetime of a small number of carriers.

**SOLUTION:** A reaction gas introducing pipe 7 is provided which introduces reaction gas into reaction pipe 11.

Semiconductor wafers 12 supported by a wafer support 8 are inserted into the reaction pipe 11. A cooling gas introducing pipe 6 which blows cooling gas directly to the respective semiconductor wafer 12, and a cooling gas discharge pipe 3 for discharging the cooling introduced into the reaction pipe 11, are provided.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.01.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3435111

[Date of registration] 30.05.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-176810  
(P2001-176810A)

(43) 公開日 平成13年6月29日 (2001.6.29)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ターム(参考)
H 0 1 L 21/22	5 1 1	H 0 1 L 21/22	5 1 1 A 5 F 0 4 5
			5 1 1 S
21/31		21/31	E

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平11-355815  
(22) 出願日 平成11年12月15日 (1999. 12. 15)

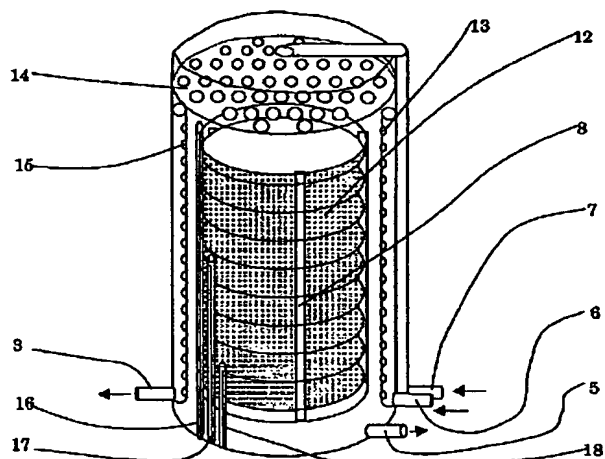
(71) 出願人 597114926  
株式会社半導体先端テクノロジーズ  
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地  
(72) 発明者 南 眞嗣  
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株  
式会社半導体先端テクノロジーズ内  
(74) 代理人 100082175  
弁理士 高田 守 (外2名)  
Fターム(参考) 5F045 AA20 AB32 AC11 AD13 AF03  
BB16 DP19 EC02 EF02 EF03  
EF05 EF20 EJ10

(54) 【発明の名称】 半導体ウェハ熱処理装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は半導体ウェハに熱処理を施すための熱処理装置に関し、少数キャリアのライフタイムを短縮することなく熱処理を行うことを目的とする。

【解決手段】 反応管11の中に反応ガスを導く反応ガス導入管7を設ける。反応管11の内部に、ウェハボート8に支持された複数の半導体ウェハ12を挿入する。それぞれの半導体ウェハ12に冷却ガスを直接吹き付けるための冷却ガス導入管6と、反応管11の内部に導かれた冷却ガスを排気するための冷却ガス排出管3とを設ける。



**【特許請求の範囲】**

**【請求項1】** 反応管の中に反応ガスを導いて半導体ウェハに熱処理を施す熱処理装置であって、

反応管の内部に保持されている半導体ウェハに冷却ガスを吹き付けるための冷却ガス導入管と、  
反応管の内部に導かれた冷却ガスを排気するために、前記冷却ガス導入管と対向する位置に設けられる冷却ガス排出管と、

を備えることを特徴とする半導体ウェハ熱処理装置。

**【請求項2】** 前記冷却ガスとして、酸素、オゾン、および水蒸気の少なくとも1つを含むガスを用いることを特徴とする請求項1記載の半導体ウェハ熱処理装置。

**【請求項3】** 前記反応管の内部には、その長手方向に、所定間隔毎に複数の半導体ウェハが保持され、  
前記冷却ガス導入管は、前記反応管の長手方向に伸びるガス噴出部を備え、  
前記ガス噴出部は、前記複数のウェハのそれぞれと対応する位置に冷却ガス噴出孔を備え、  
前記冷却ガス排出管は、前記反応管の長手方向に伸びるガス排出部を備え、  
前記ガス排出部は、前記複数のウェハのそれぞれと対応する位置に冷却ガス排出孔を備えることを特徴とする請求項1または2記載の半導体ウェハ熱処理装置。

**【請求項4】** 前記冷却ガス噴出孔は、冷却ガスの供給源に近い側から遠い側に向けて徐々に大きくなるように設けられており、  
前記冷却ガス排出孔は、冷却ガスの排気口に近い側から遠い側に向けて徐々に大きくなるように設けられていることを特徴とする請求項1乃至3の何れか1項記載の半導体ウェハ熱処理装置。

**【請求項5】** 前記反応管の一端から、その内部に前記反応ガスを導入する反応ガス導入管と、  
前記反応ガス導入管のガス噴出孔と前記反応管の内部空間との間に介在するシャワーヘッドと、  
前記シャワーヘッドの全面に形成されたシャワーヘッド孔とを備え、  
前記シャワーヘッド孔は、前記反応管の中心部から周縁部に向かって徐々に大きくなるように形成されていることを特徴とする請求項1乃至4の何れか1項記載の半導体ウェハ熱処理装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

**【発明の属する技術分野】** 本発明は、半導体ウェハ熱処理装置に係り、特に、少数キャリアのライフタイムを劣化させることなく半導体ウェハに熱処理を施すための熱処理装置に関する。

**【0002】**

**【従来の技術】** 半導体装置の製造過程では、半導体ウェハに熱処理が施されることがある。このような熱処理は、例えば、半導体ウェハの表面にシリコン酸化膜を形

成するために行われる。

**【0003】** 図16は、半導体ウェハに熱処理を施すための従来の反応管の透視図を示す。従来の反応管は、その内部にウェハポート8を収納することができる。ウェハポート8には、複数の半導体ウェハ12が水平姿勢で多段に保持される。反応管には、その内部の空間に反応ガスを導くための反応ガス導入管7、およびその内部空間から反応ガスを排出させるための反応ガス排気口5が設けられている。

**【0004】** 反応ガス導入管7は、ウェハポート8の上部から反応管の内部に反応ガスを供給することができる。反応管の上部には、反応ガスを均等に内部空間に分配するためのシャワーヘッド14が設けられている。シャワーヘッド14を通過した反応ガスは、シリコンウェハ12の周囲を通過して、反応管の下部に設けられている反応ガス排出口5から排気される。

**【0005】** 反応管には、また、その内部の温度を監視するための熱電対16、17、18を備えている。熱電対16は、反応管の上端部近傍の温度が検出できるように設けられている。熱電対17は、反応管の中央部近傍の温度が検出できるように設けられている。また、熱電対18は、反応管の下端部近傍の温度が検出できるように設けられている。

**【0006】** 従来の反応管は、熱処理の際に所定の温度に加熱される。例えば、半導体ウェハ12にシリコン酸化膜を成膜するための熱処理の際には、反応管が所定の酸化膜生成温度に加熱される。この状態で反応管の内部に反応ガスを導入すると、半導体ウェハ12に適正に熱処理を施すことができる。

**【0007】** 半導体ウェハに熱処理を施す装置としては、例えば、特開平6-216056号公報に開示されるように、上述した反応管の周囲に冷却ガスを導くことのできるものが知られている。このような装置によれば、半導体ウェハに熱処理を施した後に、反応管と、その内部に収納されている半導体ウェハとを速やかに冷却することができる。従って、このような熱処理装置によれば、半導体ウェハの熱処理を効率的に行うことができる。

**【0008】**

**【発明が解決しようとする課題】** 図17は、上記の手法（冷却ガスで反応管を冷却する手法）で熱処理された半導体ウェハについて、少数キャリアのライフタイムを測定した結果を示す。より具体的には、図17（A）はそのライフタイムの平均値、最少値、最大値、偏差、および中央値を示す。また、図17（B）はライフタイムの分布を表すヒストグラムを示す。更に、図17（C）はライフタイムの累積分布を百分率で表した図を示す。

**【0009】** 上記の手法による熱処理が施されると、半導体ウェハに含まれている少数キャリアのライフタイムは、図17に示すように平均値で127.8  $\mu$ sec程度

となる。この値は、熱処理前のライフタイムに比して著しく短く、また、半導体ウェハに対する通常の要求値（例えば350 $\mu$ sec）に比しても短い時間である。このように、半導体ウェハに対する熱処理は、半導体ウェハに含まれている少数キャリアのライフタイムを短縮する場合がある。

【0010】半導体装置が適正に機能するためには、少数キャリアが十分なライフタイムを有していることが必要である。従って、半導体装置の機能を安定に確保するためには、少数キャリアのライフタイムを短縮することのない手法で半導体ウェハを熱処理することが必要である。

【0011】本発明は、上記のような課題を解決するためになされたもので、少数キャリアのライフタイムを短縮することなく半導体ウェハに熱処理を施すことのできる半導体ウェハ熱処理装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、上記の目的を達成するため、反応管の中に反応ガスを導いて半導体ウェハに熱処理を施す熱処理装置であって、反応管の内部に保持されている半導体ウェハに冷却ガスを吹き付けるための冷却ガス導入管と、反応管の内部に導かれた冷却ガスを排気するために、前記冷却ガス導入管と対向する位置に設けられる冷却ガス排出管と、を備えることを特徴とする。

【0013】また、請求項2記載の発明は、請求項1記載の半導体ウェハ熱処理装置であって、前記冷却ガスとして、酸素、オゾン、および水蒸気の少なくとも1つを含むガスを用いることを特徴とする。

【0014】また、請求項3記載の発明は、請求項1または2記載の半導体ウェハ熱処理装置であって、前記反応管の内部には、その長手方向に、所定間隔毎に複数の半導体ウェハが保持され、前記冷却ガス導入管は、前記反応管の長手方向に伸びるガス噴出部を備え、前記ガス噴出部は、前記複数のウェハのそれぞれと対応する位置に冷却ガス噴出孔を備え、前記冷却ガス排出管は、前記反応管の長手方向に伸びるガス排出部を備え、前記ガス排出部は、前記複数のウェハのそれぞれと対応する位置に冷却ガス排出孔を備えることを特徴とする。

【0015】また、請求項4記載の発明は、請求項1乃至3の何れか1項記載の半導体ウェハ熱処理装置であって、前記冷却ガス噴出孔は、冷却ガスの供給源に近い側から遠い側に向けて徐々に大きくなるように設けられており、前記冷却ガス排出孔は、冷却ガスの排気口に近い側から遠い側に向けて徐々に大きくなるように設けられていることを特徴とする。

【0016】請求項5記載の発明は、請求項1乃至4の何れか1項記載の半導体ウェハ熱処理装置であって、前記反応管の一端から、その内部に前記反応ガスを導入す

る反応ガス導入管と、前記反応ガス導入管のガス噴出孔と前記反応管の内部空間との間に介在するシャワーヘッドと、前記シャワーヘッドの全面に形成されたシャワーヘッド孔とを備え、前記シャワーヘッド孔は、前記反応管の中心部から周縁部に向かって徐々に大きくなるように形成されていることを特徴とする。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照してこの発明の実施の形態について説明する。尚、各図において共通する要素には、同一の符号を付して重複する説明を省略する。

【0018】実施の形態1. 図1は、本発明の実施の形態1の半導体ウェハ熱処理装置の主要部を表す断面図を示す。本実施形態の熱処理装置は反応管11を備えている。反応管11の周囲は、円筒状のヒータ1で囲まれている。ヒータ1の底部には空気供給口2が設けられている。また、ヒータ1の上部には冷却器9を介してブロワー10が接続されている。

【0019】ヒータ1と反応管11との間の空間には、ブロワー10を回転させることにより冷却空気を貫流させることができる。従って、本実施形態の熱処理装置によれば、ブロワー10を回転させることにより、反応管11を強制的に冷却することができる。尚、冷却器9およびブロワー10は、空気供給口2側に設けてもよい。

【0020】反応管11の内部には、キャップ4に搭載されたウェハポート8が挿入されている。ウェハポート8は、図示しないポートエレベータにより、反応管11の内部に挿入され、また、その内部から引き出される。ウェハポート8が反応管11に挿入されると、反応管11の開口部はキャップ4によって閉塞される。

【0021】図2は、反応管11を拡大して表した斜視図を示す。反応管11は、その内部にウェハポート8を収納することができる。ウェハポート8には、複数の半導体ウェハ12が水平姿勢で多段に保持される。反応管11には、その内部空間に反応ガスを導くための反応ガス導入管7、およびその内部空間から反応ガスを排出させるための反応ガス排気口5が設けられている。

【0022】反応ガス導入管7は、ウェハポート8の上部から反応管の内部に反応ガスを供給することができる。反応管の上部には、反応ガスを均等に内部空間に分配するためのシャワーヘッド14が設けられている。シャワーヘッド14には、その全面にシャワーヘッド孔が設けられている。反応管11の内部に反応ガスが均一に導入されるように、シャワーヘッド孔は、シャワーヘッド14の中心部から周縁部に向かって徐々にその開口径が大きくなるように設けられている。シャワーヘッド14を通過した反応ガスは、シリコンウェハ12の周囲を通過して、反応管11の下部に設けられている反応ガス排出口5から排気される。

【0023】反応管11は、また、冷却ガス導入管6お

よび冷却ガス排出管3を備えている。冷却ガス導入管6は、反応管11の内部をウェハポート8に沿って上下方向に延在するガス噴出部を有している。冷却ガス導入管6のガス噴出部には、ウェハポート8に保持されている半導体ウェハ12の位置と対応するように、複数の冷却ガス噴出孔13が設けられている。冷却ガス排出管3は、反応管11の内部をウェハポート8に沿って上下方向に延在するガス排出部を有している。冷却ガス排出管6のガス排出部には、ウェハポート8に保持されている半導体ウェハ12の位置と対応するように、複数の冷却ガス排出孔15が設けられている。

【0024】冷却ガス噴出孔13および冷却ガス排出孔15は、何れも、反応管11の内部を冷却ガスが均一に流通するように、反応管11の底部側から上部側に向かって徐々にその開口径が大きくなるように設けられている。冷却ガス噴出孔13から供給される冷却ガスは、半導体ウェハ12を直接的に冷却した後、冷却ガス排出孔15から排出される。従って、本実施形態の熱処理装置によれば、半導体ウェハ12を反応管11の内部で直接的に冷却することができる。

【0025】反応管11は、その内部の温度を監視するための熱電対16、17、18を備えている。熱電対16は、反応管の上端部近傍の温度が検出できるように設けられている。熱電対17は、反応管の中央部近傍の温度が検出できるように設けられている。また、熱電対18は、反応管の下端部近傍の温度が検出できるように設けられている。熱電対16、17、18による測定の結果は、ヒータ1の制御などに用いられる。尚、反応管11に組み込む熱電対の本数は3本に限定されるものではなく、ヒータ1の制御方式等に応じてより多数の熱電対を装着してもよい。

【0026】本実施形態の熱処理装置では、ヒータ1を発熱させることにより半導体ウェハ12を所定の温度に加熱することができる。また、その状態で反応管11の内部に反応ガスを供給することで半導体ウェハ12に所

定の熱処理を施すことができる。具体的には、例えば、ヒータ1により反応管11の内部を900℃程度に加熱して、反応管11の中に反応ガスとして水蒸気や酸素を供給することで、半導体ウェハ12の表面にシリコン酸化膜を形成するための熱処理を行うことができる。

【0027】また、本実施形態の熱処理装置は、上記の如く、ヒータ1と反応管11との間に冷却ガスを流通させることにより反応管11を効率的に冷却し、かつ、反応管11の内部に冷却ガスを流通させることにより半導体ウェハ12を直接的に冷却することができる。このため、本実施形態の装置によれば、熱処理の過程で加熱された半導体ウェハ12を、熱処理の終了後に速やかに冷却することができる。

【0028】熱処理の終了後に、半導体ウェハ12を速やかに冷却することは、半導体ウェハ12に含まれる少数キャリアのライフタイムが短くなるのを防ぐ上で重要である。この点、本実施形態の熱処理装置は、少数キャリアのライフタイムの短縮を抑制しつつ、所望の熱処理を効率的に実行し得るという優れた効果を有している。

【0029】本発明の効果の根拠。以下、半導体ウェハ12に含まれる少数キャリアのライフタイムに影響する因子を見つけ出すために行った種々の実験の結果に基づいて、半導体ウェハ12の冷却速度が少数キャリアのライフタイムに大きな影響を与えることを説明する。

【0030】表1は、上記目的の実験において、試料を作成するために用いられた熱処理条件の一覧を示す。表1に示す条件に従う熱処理は、シリコン単結晶の面上に50nm程度の膜厚でシリコン酸化膜を有する半導体ウェハに対して施される。以下、上記の熱処理が施される前の半導体ウェハを「処理前ウェハ」と称し、また、上記の熱処理が施された後の半導体ウェハを「処理後ウェハ」と称す。

【0031】

【表1】

条件	Push Temp.(°C)	Anneal Temp.(°C)	Anneal Time (min)	Pullout Temp.(°C)
A_01	400	400	40	400
A_02	450	450	40	450
A_03	500	500	40	500
A_04	550	550	20	550
A_05	550	550	40	550
A_06	550	550	160	550
A_07	600	600	40	600
A_08	650	650	40	650
A_09	700	700	40	700
B_01	700	700 (-2.5°C/min) → 400	40 (at 400°C)	400
B_02	700	700 (-2.5°C/min) → 500	40 (at 500°C)	500
B_03	700	700 (-2.5°C/min) → 600	40 (at 600°C)	600

【0032】表1において、「Push Temp.」は半導体ウェハ12を反応管11の中に挿入する際の管内温度を示す。「Anneal Temp.」および「Anneal Time」は半導体ウェハ12が反応管11の内部に保持される際の管内温度、およびその保持時間を示す。また、「Pullout Time」は半導体ウェハ12を反応管11の中から引き出す際の管内温度を示す。尚、条件B-01～B-03におけるAnneal Temp.は、-2.5°C/minの速度で管内温度を700°Cからそれぞれの表示温度に降温させたことを表している。

【0033】実験1. 小数キャリアのライフタイムが劣化する原因としては、サーマルドナーの影響が考えられる。このため、小数キャリアのライフタイムと、サーマルドナーとの関係を確認するための実験を行った。

【0034】図3は、処理前ウェハと、条件B-01、B-02またはB-03で熱処理された処理済みウェハとを試料としてシート抵抗を測定した結果を示す。シート抵抗は、各試料の表面に形成されているシリコン酸化膜をBHFを用いたウェット処理により除去した後に、国際電気社製のVR-120を用いて、49point/waferの密度で測定した。

【0035】図3に示すように、熱処理の温度を700°Cから600°Cまで降温させた場合(条件B-03)、およびその温度を500°Cまで降温させた場合(条件B-02)は、熱処理が施されていない場合とほぼ同等のシート抵抗(約290Ω/□)を示す。一方、熱処理の温度が700°Cから400°Cまで降温される場合(条件B-01)は、他の場合に比してシート抵抗が大きな値(約430Ω/□)となる。半導体ウェハ12のシート抵抗は、サーマルドナーが発生して、キャリアがサーマルドナーに捕獲される状態が形成されることにより上昇する。従って、上記の結果は、サーマルドナーが450°C

付近の温度帯で発生したために生じたものと考えられる。

【0036】図4は、処理前ウェハと、そのウェハを条件B-03(熱処理温度を700°C→600°Cとする条件)で熱処理して作成した処理済みウェハとについて、少数キャリアのライフタイムを測定した結果を示す。より具体的には、図4(A)乃至図4(C)は、処理前ウェハについての測定結果(ライフタイムの平均値、最小値、最大値、偏差、および中央値)、ライフタイムの分布、およびライフタイムの累積分布を示す。また、図4(D)乃至図4(F)は、処理済みウェハについての測定結果、ライフタイムの分布、およびライフタイムの累積分布を示す。図4に示すように、条件B-03で熱処理された処理済みウェハでは、ライフタイムに劣化は生ずるものの、ライフタイムの最大値は依然として熱処理前の値と同等レベルに維持される。

【0037】小数キャリアのライフタイムは、Semilab社製のWT-85XAを用いて、raster 2mmの範囲(2mm□の範囲)で測定した。ライフタイムの測定機および測定範囲は、以下の全ての試料について共通である。上記の測定機によれば、図4に示す各種結果の他に、測定範囲内におけるライフタイムの平面分布を得ることができる。

【0038】図5は、処理前ウェハと、そのウェハを条件B-02(熱処理温度を700°C→500°Cとする条件)で熱処理して作成した処理済みウェハとについて、少数キャリアのライフタイムを測定した結果を示す。図5(A)乃至図5(F)の内容は、それぞれ図4(A)乃至図4(F)の内容に対応している。図5に示すように、条件B-02による熱処理の前後では、小数キャリアのライフタイムが、約1200μsecから約30μsecに急激に劣化する。

【0039】図6は、処理前ウェハと、そのウェハを条

件B-01(熱処理温度を700℃→400℃とする条件)で熱処理して作成した処理済みウェハとについて、少数キャリアのライフタイムを測定した結果を示す。図6(A)乃至図6(F)の内容は、それぞれ図4(A)乃至図4(F)の内容に対応している。図6に示すように、条件B-01による熱処理の前後では、少数キャリアのライフタイムが、約1200μsecから約40μsecに急激に劣化する。

【0040】図7は、図4乃至図6に示す結果から、ライフタイムの平均時間に関する結果を抽出し、その結果を対比して表した図を示す。図7に示すように、少数キャリアのライフタイムは、熱処理温度の下限が500℃または400℃である場合に、その下限が600℃である場合に比して顕著に劣化している。また、そのライフタイムは、熱処理温度の下限が500℃である場合と、その下限が400℃である場合とで、ほぼ同等に劣化している。

【0041】上述の如く、半導体ウェハ12には、450℃程度の温度帯でサーマルドナーが発生すると考えられる(図3参照)。一方、少数キャリアのライフタイムには、熱処理の下限が500℃である場合にも顕著な劣化が生じている。従って、熱処理の前後で少数キャリアを顕著に劣化させる原因は、サーマルドナーではないと考えることができる。

【0042】実験2. 次に、熱処理の温度と少数キャリアのライフタイムとの関係を把握するために行った実験の内容と結果とを説明する。図8は、処理前ウェハを試料とするライフタイムの測定結果と、その処理前ウェハを単一の温度(A-01~A-03、A-05、A-07~A-09の何れかの条件)で熱処理して作成した処理済みウェハについてのライフタイムの測定結果とを対比して表した図を示す。本実験において、各資料の熱処理は、N<sub>2</sub>雰囲気中で実行した。

【0043】図8に示すように、熱処理の温度が700℃である場合は、少数キャリアのライフタイムに劣化は見られない。熱処理の温度が650℃、600℃と低下するに伴ってライフタイムの劣化は段々と顕著となり、その温度が550℃である場合に最も顕著となる。そして、熱処理の温度が更に500℃、450℃、400℃と低下すると、再び劣化の程度が小さくなる。

【0044】図9は、処理前ウェハを試料とするライフタイムの測定結果と、その処理前ウェハをA-04~A-06の何れかの条件で、すなわち、ライフタイムを最も劣化させる550℃の温度で熱処理することにより作成した処理済みウェハについてのライフタイムの測定結果とを対比して表した図を示す。条件A-04~A-06は、それぞれ熱処理時間が相違している。従って、図9に示す測定結果は、熱処理の時間に対するライフタイムの依存性を示している。

【0045】図9に示すように、少数キャリアのライフ

タイムは、熱処理の時間が長いほど顕著に劣化する。しかし、熱処理温度が単一温度(550℃)に固定されている場合は、熱処理時間が長期化されても、処理条件B-01~B-03が用いられた場合のようにライフタイムが劣化すること、すなわち、ライフタイムが20~40μsecの範囲に集中するように劣化することはない。また、熱処理温度が単一温度である場合は、試料である半導体ウェハ12の周辺部分からライフタイムの劣化が進行する。

【0046】実験3. 次に、劣化したライフタイムが熱処理により回復するか否かを確認するために行った実験について説明する。図10(A)乃至図10(C)は、処理前ウェハを対象として少数キャリアのライフタイムを測定した結果を示す。また、図10(D)乃至図10(F)は、その処理前ウェハを条件B-01で熱処理した後にライフタイムを測定した結果を示す。更に、図10(G)乃至図10(I)は、条件B-01で処理された処理済みウェハを条件A-09で再び熱処理した後にライフタイムを測定した結果を示す。

【0047】今回の実験では、図10に示すように、条件B-01による熱処理、すなわち、熱処理温度を700℃から400℃に降温させる条件による熱処理が行われることにより少数キャリアのライフタイム(平均値)は606μsecから26,29μsecに劣化した。以下、このように劣化した後のライフタイムを「劣化後ライフタイム」と称す。

【0048】そして、今回の実験では、ライフタイムの劣化した処理済みウェハに、条件A-09による熱処理、すなわち、単一温度700℃での熱処理を施したところ、少数キャリアのライフタイム(平均値)は、初期値と同レベルである673.4μsecにまで回復した。また、条件A-09による熱処理の後、ライフタイムの平面分布も、ほぼ初期の状態(処理前ウェハの状態)と同じ分布に戻ることが確認された。

【0049】このように、少数キャリアのライフタイムは、熱処理の実行に伴って一旦劣化しても、その後適正な熱処理を再び行うことにより初期の値にまで回復させることができる。以下、劣化後ライフタイムの回復を目的として行われる熱処理を「回復用熱処理」と称し、また、回復用熱処理を受けた処理済みウェハで測定されるライフタイムを「回復後ライフタイム」と称す。

【0050】次に、回復用熱処理で用いられる温度と、回復後ライフタイムとの関係を把握するための実験を行った。図11は、複数の半導体ウェハについて、ライフタイムの初期値と、劣化後ライフタイムと、回復後ライフタイムとを対比して表した図を示す。図11において、横軸に示される熱処理温度は、回復用熱処理で用いられた温度である。すなわち、図11に示す回復後ライフタイムは、劣化後ライフタイムを、A-01~A-03、A-05、A-07~A-09の何れかの条件を用いた回復用熱処

理(N<sub>2</sub>雰囲気)で回復させた後の値である。

【0051】図11に示すように、回復用熱処理で用いられる温度が400℃または450℃である場合は、劣化後ライフタイムと回復後ライフタイムとの間に殆ど差は見られない。回復用熱処理で用いられる温度が500℃を越えると、徐々に回復の効果が生じ始め、その温度が600℃を越える条件では、回復後ライフタイムがライフタイムの初期値と同等レベルにまで回復する。上記の実験では、また、ライフタイムの回復は、半導体ウェハ12の中心部付近から進行することが確認された。

【0052】実験4. 半導体ウェハ12の少数キャリアは、そのウェハのシリコン部分に発生する。また、少数キャリアのライフタイムは、シリコン部分の内部に発生するキャリア(以下、「内部キャリア」と称す)のライフタイムと、シリコン部分の表面に発生するキャリア(以下、「表面キャリア」と称す)のライフタイムとによって決定される。以下、熱処理に伴うライフタイムの劣化に対して、内部キャリアが与える寄与度、および表面キャリアが与える寄与度を把握するために行った実験について説明する。

【0053】図12は、複数の半導体ウェハについて、ライフタイムの初期値と、熱処理後のライフタイムと、酸化膜除去状態でのライフタイムとを対比して表した図を示す。図12において、横軸に示される温度は熱処理の条件(熱処理無し、または、A-01~A-03、A-05、A-07~A-09、B-01、およびB-02の何れか)を表している。また、「酸化膜除去状態でのライフタイム」は、処理済みウェハの表面を覆っているシリコン酸化膜をBHF処理で除去した直後に測定したライフタイムである。

【0054】処理済みウェハの表面がシリコン酸化膜で覆われている場合は、シリコン部分の表面(シリコン酸化膜との界面)に、シリコンダングリングボンドが多数存在している。それらのシリコンダングリングボンドは、表面キャリアを捕獲して消滅させる。このため、表面キャリアのライフタイムは、シリコン部分とシリコン酸化膜との境界面の状態に大きく影響される。

【0055】換言すると、処理済みウェハの表面がシリコン酸化膜で覆われている場合は、シリコン部分とシリコン酸化膜との境界面の状態に応じて、表面キャリアのライフタイムが大きく変化する。従って、この場合は、表面キャリアのライフタイムが、ライフタイムの平均値に対して寄与度を有している。

【0056】処理済みウェハの表面を覆っていたシリコン酸化膜がBHF処理により除去された直後は、露出したシリコン部分の表面がBHFで覆われている。この場合、シリコン部分の表面に存在するダングリングボンドが水素によって終端(terminate)されるため、試料間でシリコン部分の表面状態が異なっているにもかかわらず、表面キャリアのライフタイムは全ての試料においてほぼ同じにな

ると考えられる。従って、このような状況下では、表面キャリアのライフタイムがライフタイムの平均値に与える寄与度は極めて小さいと考えられる。つまり、酸化膜除去状態でのライフタイムに対して、内部キャリアのライフタイムが大きな寄与度を有すると考えられる。

【0057】図12に示すように、熱処理後(酸化膜除去前)のライフタイム、すなわち、表面キャリアのライフタイムと内部キャリアのライフタイムとの双方から寄与を受けるライフタイムには、熱処理条件の違いに応じた差が生じている。一方、内部キャリアのライフタイムだけが大きな寄与度を有する酸化膜除去状態でのライフタイムは、処理前ウェハを含む全てのウェハについてほぼ同じ値(150μsec~250μsec)となっている。従って、熱処理に伴って生ずるライフタイムの差は、表面キャリアのライフタイムの差、すなわち、シリコン部分とシリコン酸化膜との境界部分の状態の差に起因していると考えられる。

【0058】実験5. 次に、熱処理の過程で半導体ウェハ12から脱離するガスの影響と、少数キャリアのライフタイムとの関係を把握するために行った実験について説明する。図14は、膜厚100nmの酸化膜を有する半導体ウェハを試料として行ったTDS(Thermal Desorption Spectrometry)の結果を示す。TDSの試料は、シリコンウェハの表面を、いわゆるパイロ酸化(Pyro酸化)の手法で酸化させることにより、すなわち、シリコンウェハの表面を、水素と酸素とを反応させて生成した水蒸気で酸化させることにより作成した。この際、酸化温度は900℃とした。

【0059】TDSは、電子科学社製のEMD-WA1000を用いて、昇温レート1℃/secで試料を室温から1000℃まで昇温させながら行った。また、本実験では、H<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、およびN<sub>2</sub>をTDSの測定元素とし、試料が昇温する過程で、それらの測定元素に対応する脱離スペクトルの強度を測定した。

【0060】図13に示す脱離スペクトルには、400℃付近に、H<sub>2</sub>の小さなスペクトルピークと、H<sub>2</sub>Oの顕著なスペクトルピークとが認められる。ライフタイムの劣化が水素の脱離に起因するものであれば、それらのピークの前後でライフタイムに大きな差が生ずるはずであり、また、ライフタイムの回復には水素の存在が必要とされるはずである。

【0061】実験2の結果(図8参照)が示すように、少数キャリアのライフタイムには、熱処理の温度が400℃~450℃程度である場合には劣化が生じない。また、実験4の結果(図11参照)が示すように、劣化したライフタイムは、N<sub>2</sub>雰囲気中での熱処理(処理温度600℃)が行われるだけで、ほぼ初期値に回復する。従って、ライフタイムの劣化は、シリコン部分とシリコン酸化膜との境界面からの水素脱離によるものではないと考えられる。



【0062】ライフタイム劣化原因を説明するための仮説. 少数キャリアのライフタイム $\tau$ は、内部キャリアのライフタイム（以下、「バルクライフタイム $\tau_b$ 」と称す）と、表面キャリアのライフタイム（以下、「表面ライフタイム $\tau_s$ 」と称す）とを用いて、次式のように表すことができる。

$$1/\tau = 1/\tau_b + 1/\tau_s$$

【0063】実験1の結果（図3および図7参照）より、ライフタイム $\tau$ の劣化にはサーマルドナーが影響しないことが確認されている。また、実験4の結果（図12参照）より、熱処理の実行に伴ってライフタイム $\tau$ が劣化している場合でも、バルクライフタイム $\tau_b$ （酸化膜除去状態でのライフタイムに相当）には劣化が生じていないと考えられる。従って、ライフタイム $\tau$ の劣化は、シリコン部分とシリコン酸化膜との境界面（以下、「Si/SiO<sub>2</sub>界面」と称す）においてキャリアが再結合により消滅するまでの時間、すなわち、表面ライフタイム $\tau_s$ の変化に起因するものと考えられる。

【0064】Si/SiO<sub>2</sub>界面における表面ライフタイム $\tau_s$ に影響を及ぼす要因としては、その界面におけるシリコンと水素との結合状態、およびその界面におけるシリコンと酸素との結合状態が考えられる。実験5の結果（図13参照）より、ライフタイム $\tau$ の劣化は水素の影響

$$l_{tr} = \int_{T1}^{T2} [P1(T) \cdot n_A - P2(T) \cdot n_B] dT \quad \text{----- (Eq.1)}$$

【0068】半導体ウェハ12の表面にシリコン酸化膜が成膜された直後は、Si/SiO<sub>2</sub>界面に、シリコンと酸素の良好な結合状態が形成されている。この場合、状態密度 $n_A$ は状態密度 $n_B$ に比して高いので、Eq. 1における被積分関数は正となり、界面トラップ密度 $l_{tr}$ は熱処理の実行に伴って増加する。従って、上記のモデルによれば、熱処理の実行に伴って少数キャリアのライフタイム $\tau$ が劣化する現象を説明することができる。

【0069】上記のモデルにおいて、単一温度の熱処理に対するライフタイム $\tau$ の温度依存性は、遷移確率 $P1(T)$ の温度依存性に帰着される。上記のモデルは、遷移確率 $P1(T)$ が550℃付近で極大値を持つ分布を有していれば、実験2の結果（図8参照）と整合する。また、熱処理温度が徐々に降温される場合は、界面トラップ密度 $l_{tr}$ に各温度での寄与が加えられ、その値は、熱処理温度が単一である場合に比して大きくなる。従って、上記のモデルによれば、条件B-01や条件B-02でライフタイムが大きく劣化する現象も説明することができる。

【0070】処理温度を徐々に降温させる熱処理（条件B-01による熱処理など）が半導体ウェハ12に施された後は、Si/SiO<sub>2</sub>界面でシリコンと酸素とが分離して

響によるものではないことが確認されている。従って、ライフタイム $\tau$ が劣化する原因は、熱処理の実行に伴ってSi/SiO<sub>2</sub>界面においてシリコンと酸素との結合状態が変化することと考えられる。

【0065】ライフタイム $\tau$ の劣化がSi/SiO<sub>2</sub>界面におけるシリコンと酸素の結合状態の変化に起因していると考えて、ライフタイム $\tau$ の熱処理温度に対する依存性（実験2：図8および図9参照）を、以下のモデルを用いて定性的に説明する。

【0066】図14は、以下の説明に用いるモデルの概念を表す状態遷移図を示す。図14に示すように、Si/SiO<sub>2</sub>界面においてシリコンと酸素とが結合している状態（以下、「状態A」と称す）の状態密度を $n_A$ 、両者が分離している状態（以下、「状態B」と称す）の状態密度を $n_B$ とする。また、状態Aから状態Bに遷移する確率、および状態Bから状態Aに遷移する確率を、それぞれ温度 $T$ の関数として $P1(T)$ および $P2(T)$ とする。この場合、状態Bで生じる界面トラップ密度 $l_{tr}$ は、次式で与えられると考えられる。尚、次式において $T1$ および $T2$ は、熱処理の開始温度、および終了温度である。

【0067】

【数1】

り、シリコン部分の表面に形成されるシリコンダングリングボンドが表面キャリアとの再結合中心として働いていると考えられる。この状態では、状態密度 $n_B$ は状態密度 $n_A$ に比して高いので、Eq. 1における被積分関数は負となり、界面トラップ密度 $l_{tr}$ は熱処理の実行に伴って減少する。従って、上記のモデルによれば、適正な熱処理が行われることで劣化したライフタイム $\tau$ が初期値と同等の値に回復する現象を説明することができる。このように、図14に示すモデルによれば、ライフタイムの劣化に関係する種々の現象（実験結果）を適正に説明することができる。

【0071】熱処理に伴うシリコンと酸素との乖離は、熱処理温度の降温スピードが早くなるほど生じ難くなると考えられる。従って、熱処理の後に高い降温スピードで温度が下げられるほど、少数キャリアのライフタイムには劣化が生じ難いと考えられる。また、酸素雰囲気中では、状態Aから状態Bへの遷移確率 $P1(T)$ に比して状態Bから状態Aへの遷移確率 $P2(T)$ が大きくなる。従って、酸素が存在する雰囲気中ではシリコンと酸素との乖離が生じ難くなり、ライフタイムの劣化が生じ難くなると考えられる。

【0072】実験6. 次に、上記の仮説の下に、ライフ

タイムの劣化を抑制するうえで好適な熱処理条件を決めるために行った実験について説明する。本実験では、第1乃至第3の試料を作成し、それらについて小数キャリアのライフタイムを測定した。

【0073】第1の試料は以下の手順で作成した。先ず、半導体ウェハ12を反応管11の中で900℃の温度で酸化する。次に、反応管11内部の雰囲気をN<sub>2</sub>とし、反応管11とヒータ1との間にのみ冷却ガスを導いて半導体ウェハ12を冷却する。冷却速度は平均で15℃/minとし、反応管11の内部温度が400℃となるまで冷却する。上記の手順で作成した第1の試料についてライフタイムを測定したところ、25μsecであった。

【0074】第2の試料は以下の手順で作成した。先ず、半導体ウェハ12を反応管11の中で900℃の温度で酸化する。次に、反応管11内部を酸素雰囲気としたまま、反応管11とヒータ1との間にのみ冷却ガスを導いて半導体ウェハ12を冷却する。冷却速度は平均で15℃/minとし、反応管11の内部温度が400℃となるまで冷却する。上記の手順で作成した第2の試料についてライフタイムを測定したところ、128.8μsecであった。

【0075】第3の試料は以下の手順で作成した。先ず、半導体ウェハ12を反応管11の中で900℃の温度で酸化する。次に、反応管11内部を酸素雰囲気としたまま、反応管11とヒータ1との間に冷却ガスを導き、かつ、反応管11の中にもN<sub>2</sub>の冷却ガスを導入して半導体ウェハ12を冷却する。冷却速度は平均で15℃/minとし、反応管11の内部温度が400℃となるまで冷却する。上記の手順で作成した第3の試料についてライフタイムを測定したところ、818.9μsecであった。尚、試料3についての各種の測定を図15に示す。

【0076】上記の実験において、冷却速度は、熱電対16～18によるモニタ値に基づいて制御されている。熱電対16～18のモニタ値は半導体ウェハ12自身の温度ではないため、試料3の作成工程における半導体ウェハ12の降温速度は、試料2の作成工程における半導体ウェハ12の降温速度に比して高速であると考えられる。この結果より、ライフタイムを劣化させない降温速度の下限値は、15℃/min付近であることが判る。更に、ライフタイムの劣化を防止するうえでは、反応管11の内部に冷却ガスを導くことが重要であることが判る。

【0077】本実施形態の熱処理装置は、上記の如く、半導体ウェハ12に熱処理を施した後、ヒータ1と反応管11との間、および反応管11の内部に冷却ガスを流通させて半導体ウェハ12を直接的に冷却する。より具体的には、半導体ウェハ12に酸化処理を施す場合には、上述した試料3の作成手順に従って半導体ウェハ1

2の冷却を行う。このため、本実施形態の熱処理装置によれば、小数キャリアのライフタイムを劣化させることなく、半導体ウェハ12に適正な熱処理を施すことができる。

【0078】ところで、上記の実施形態では、反応管11に導く冷却ガスがN<sub>2</sub>ガスに限定されているが、冷却ガスはこれに限定されるものではなく、酸素や水蒸気、或いはオゾンなども冷却ガスとして用いることができる。これらのガスを冷却ガスとすると、シリコンと酸素との乖離を更に防止することが可能となり、小数キャリアのライフタイムを更に長期化すること、場合によっては、1msec程度のライフタイムを確保することが可能となる。

【0079】

【発明の効果】この発明は以上説明したように構成されているので、以下に示すような効果を奏する。請求項1記載の発明によれば、反応管の内部に冷却ガスを導いて熱処理の施された半導体ウェハを直接的に冷却することができる。このため、本発明によれば、半導体ウェハの降温過程で少数キャリアのライフタイムに生ずる劣化の程度を十分に小さく抑制することができる。

【0080】請求項2記載の発明によれば、半導体ウェハの表面に酸素を豊富に供給しながら冷却工程を進めることができる。半導体ウェハの表面に酸素が豊富に存在すると、シリコンと酸素との結合が乖離するのを効果的に防止することができる。このため、本発明によれば、少数キャリアのライフタイムが劣化するのを有効に防止することができる。

【0081】請求項3記載の発明によれば、反応管の内部に導かれた冷却ガスを、半導体ウェハに対して直接吹き付けることができる。従って、本発明によれば、半導体ウェハを効果的に冷却して、ライフタイムの劣化を十分に抑制することができる。

【0082】請求項4記載の発明によれば、冷却ガス噴出口の大きさ、および冷却ガス排出孔の大きさを、それらの場所に応じて変化させることにより、反応管の内部を流れる冷却ガスの流量を均一化することができる。従って、本発明によれば、反応管に収納される複数の半導体ウェハを、均一に冷却することができる。

【0083】請求項5記載の発明によれば、シャワーヘッドの大きさを、反応管の中心部から周縁部に向かって大きくすることで、反応管の内部を流れる反応ガスの流量を均一化することができる。従って、本発明によれば、反応管に収納される複数の半導体ウェハに対して、均一な熱処理を施すことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1の半導体ウェハ熱処理装置の主要部を表す図である。

【図2】 本発明の実施の形態1の半導体ウェハ熱処理装置が備える反応管の斜視図である。

【図3】 処理条件の異なる複数の半導体ウェハのシート抵抗値を比較して表した図である。

【図4】 条件B-03で熱処理される前後で少数キャリアのライフタイムに関する測定を行った結果である。

【図5】 条件B-02で熱処理される前後で少数キャリアのライフタイムに関する測定を行った結果である。

【図6】 条件B-01で熱処理される前後で少数キャリアのライフタイムに関する測定を行った結果である。

【図7】 処理条件の異なる複数の半導体ウェハについて、少数キャリアのライフタイムを比較して表した図である。

【図8】 単一温度の熱処理が施される前後で測定された少数キャリアのライフタイムを比較して表した図である。

【図9】 単一温度の熱処理に対するライフタイムの処理時間依存性を表した図である。

【図10】 ライフタイムの初期値、劣化後ライフタイム、および回復後ライフタイムを比較して表した図である。

【図11】 ライフタイムの回復に関する処理温度依存性を表した図である。

【図12】 ライフタイムの初期値と、熱処理後のライフタイムと、シリコン酸化膜を除去した状態でのライフタイムとを比較して表した図である。

【図13】 シリコン酸化膜を備える半導体ウェハを対象として行ったTDSの結果である。

【図14】 ライフタイムの劣化原因を説明するために仮定したモデルの概念図である。

【図15】 本発明の実施の形態1の熱処理装置で処理された半導体ウェハのライフタイムに関する測定結果である。

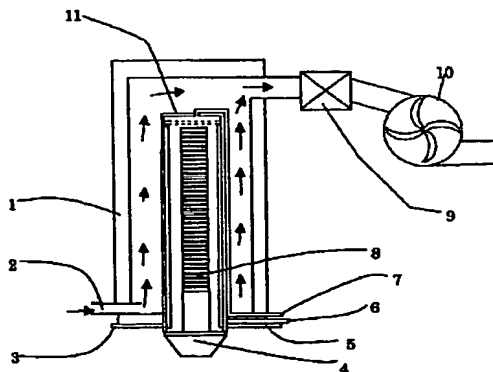
【図16】 従来の熱処理装置が備える反応管の斜視図である。

【図17】 従来の熱処理装置で処理された半導体ウェハのライフタイムに関する測定結果である。

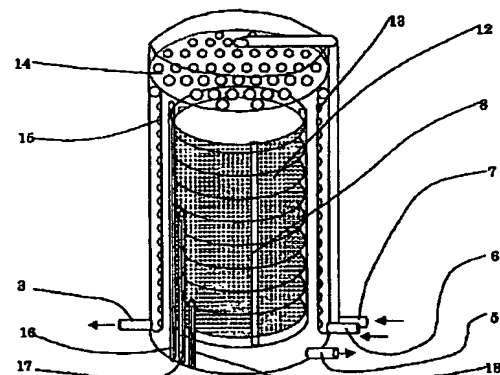
#### 【符号の説明】

- 1 ヒータ
- 2 空気供給口
- 3 冷却ガス排出管
- 5 反応ガス排気口
- 6 冷却ガス導入管
- 7 反応ガス導入管
- 8 ウェハポート
- 11 反応管
- 13 冷却ガス噴出孔
- 14 シャワーヘッド
- 15 冷却ガス排出孔
- 16～18 熱電対

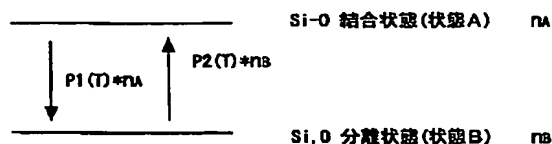
【図1】



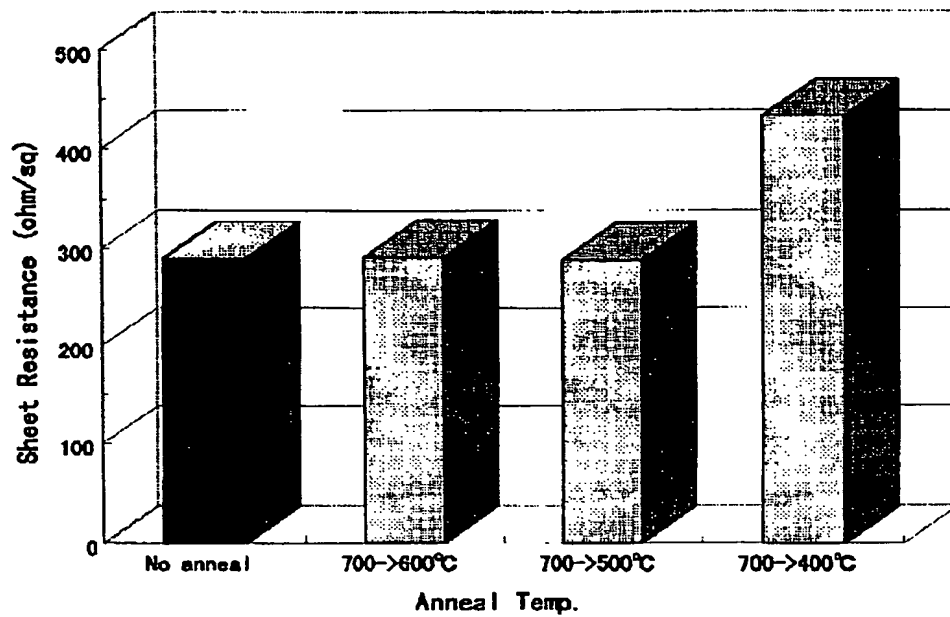
【図2】



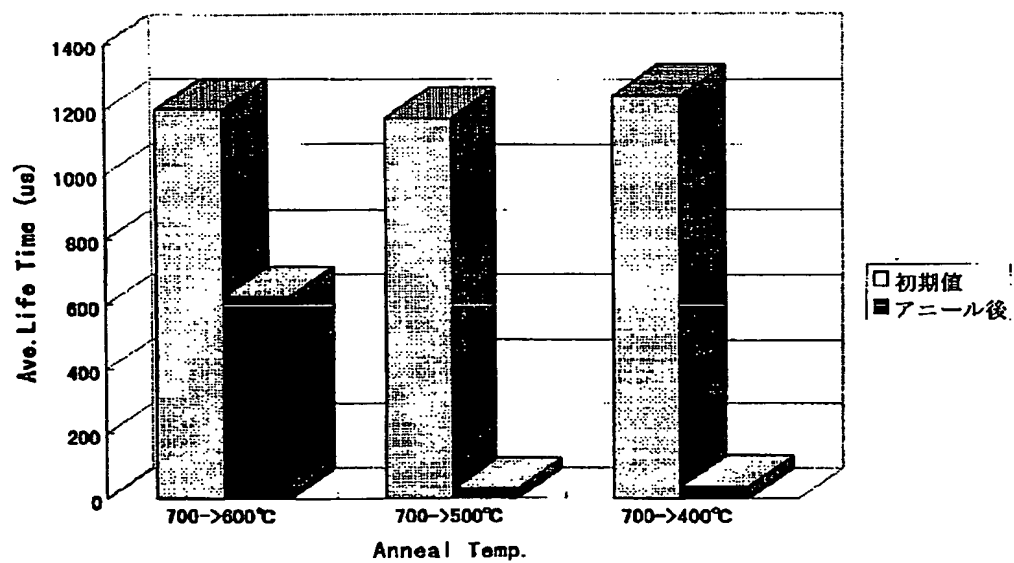
【図14】



【図3】



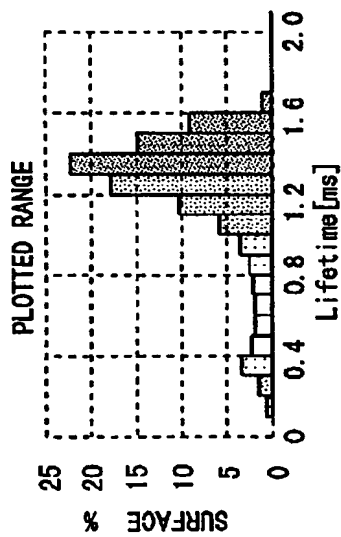
【図7】



Lifetime

Average	: 1199 $\mu$ s
Minimum	: 74.4 $\mu$ s
Maximum	: 2385 $\mu$ s
Deviation	: 26.5%
Median	: 1388 $\mu$ s

(A)

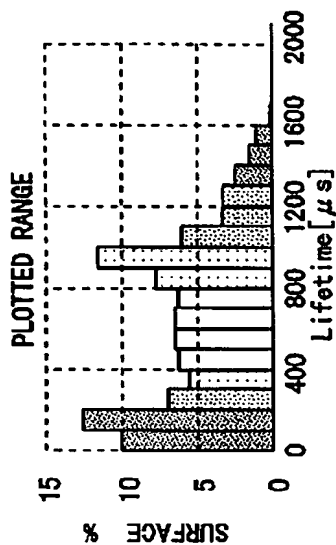


(B)

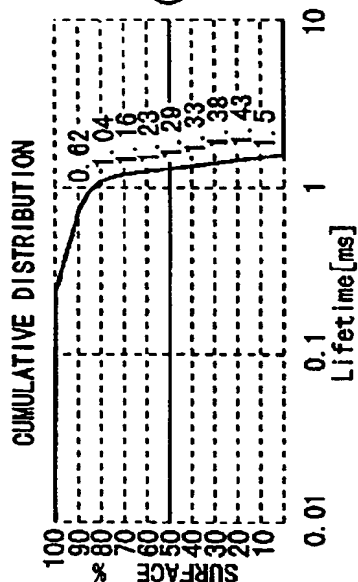
Lifetime

Average	: 625.4 $\mu$ s
Minimum	: 20.52 $\mu$ s
Maximum	: 3645 $\mu$ s
Deviation	: 65.0%
Median	: 616.6 $\mu$ s

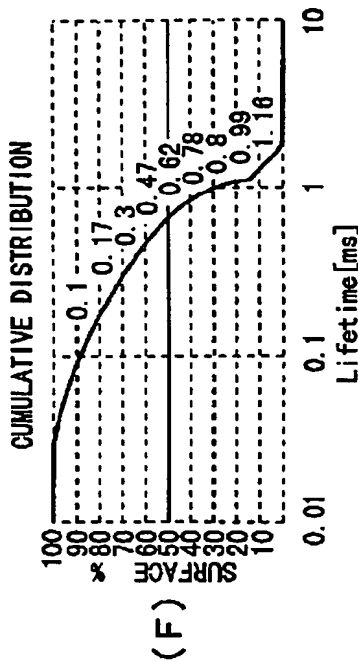
(D)



(E)



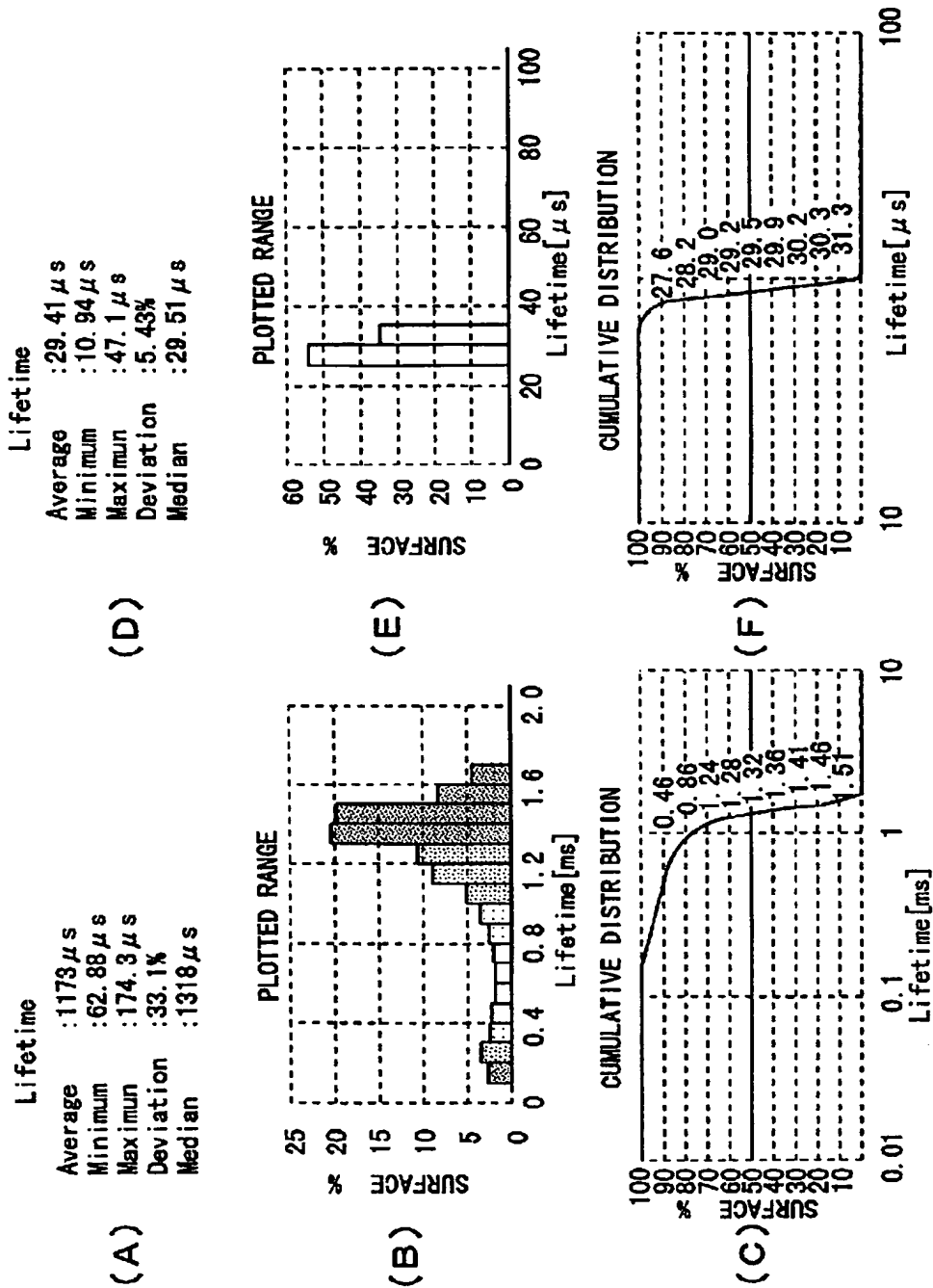
(C)



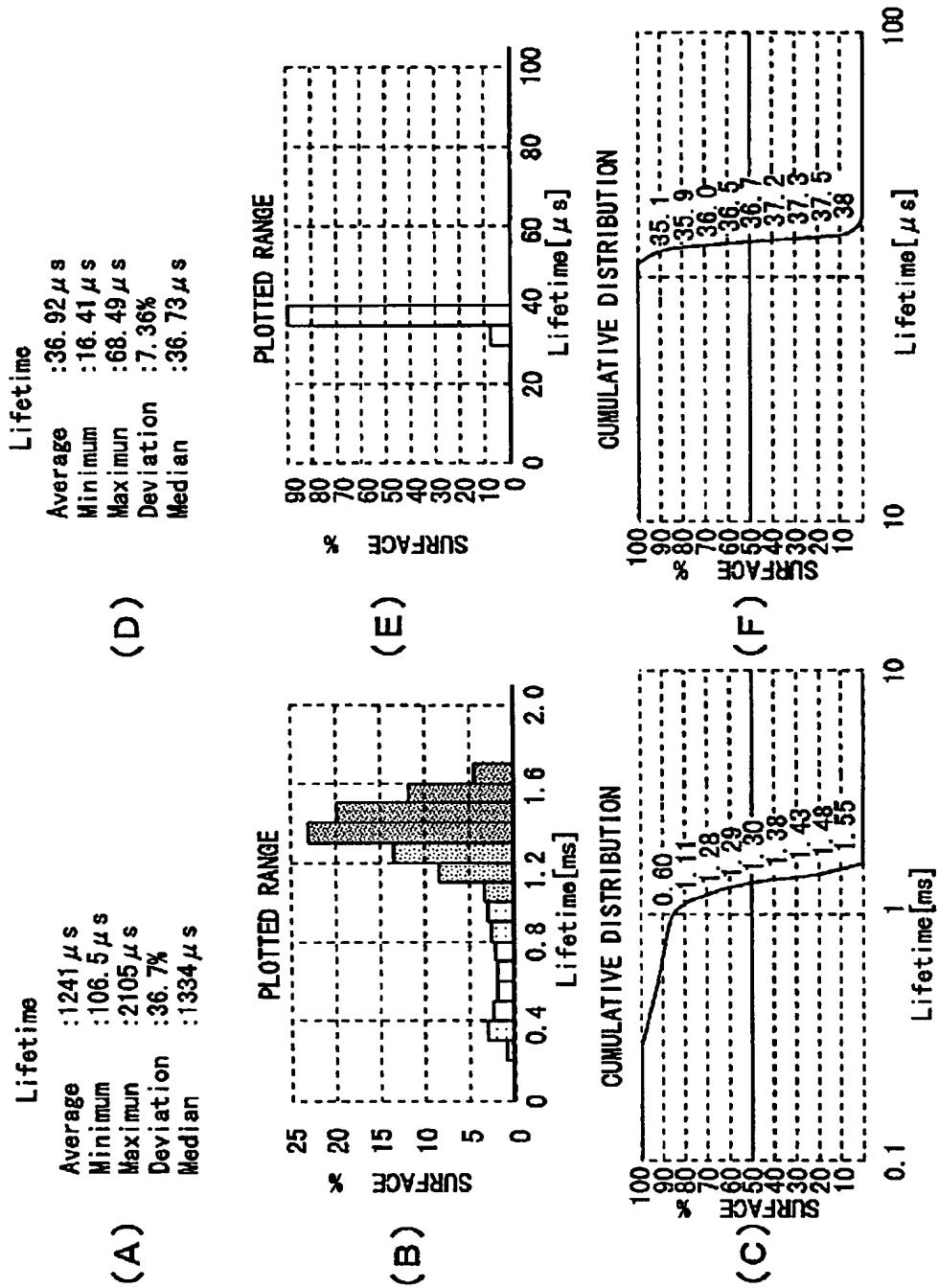
(F)

【図4】

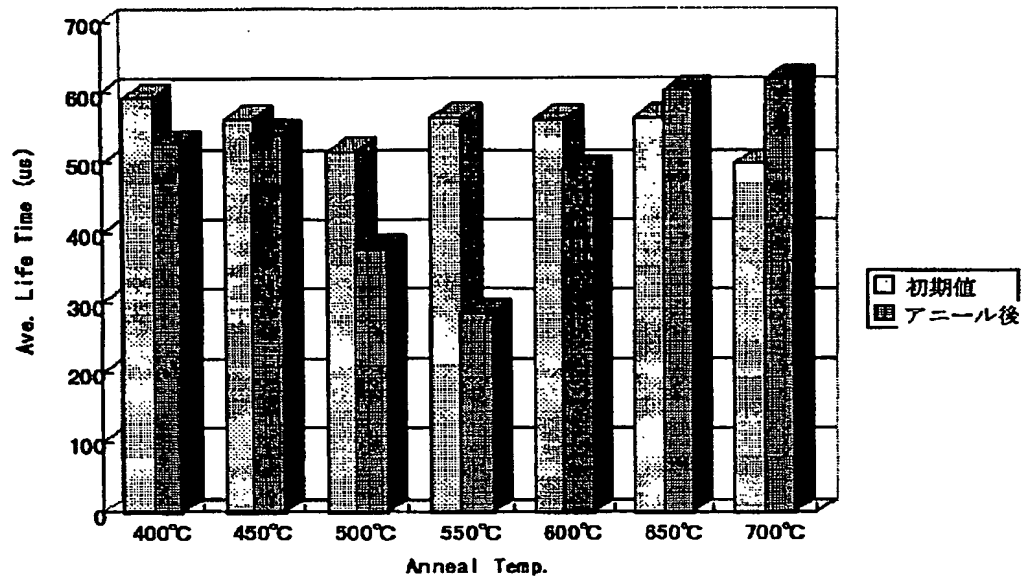
【図5】



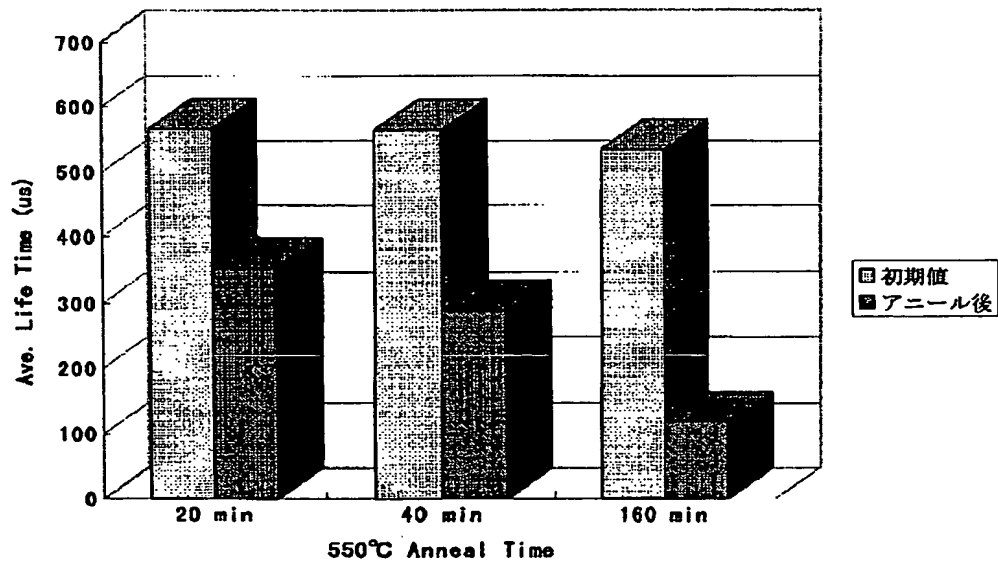
【図6】



【図8】

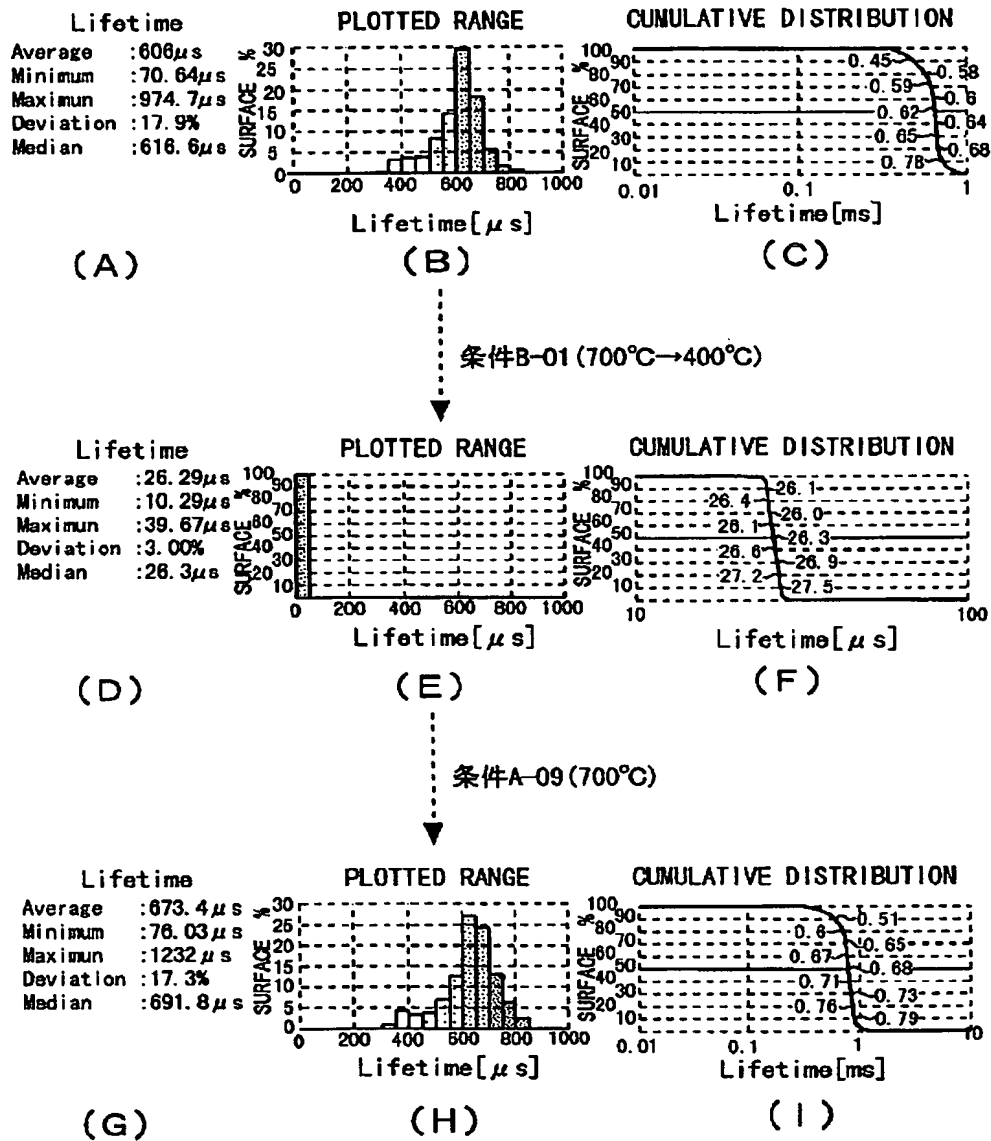


【図9】

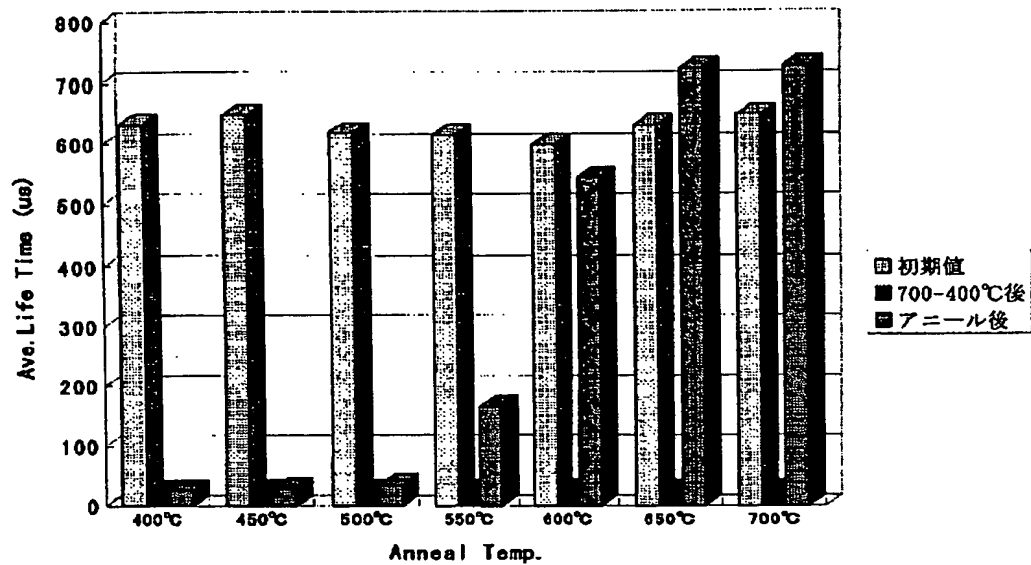




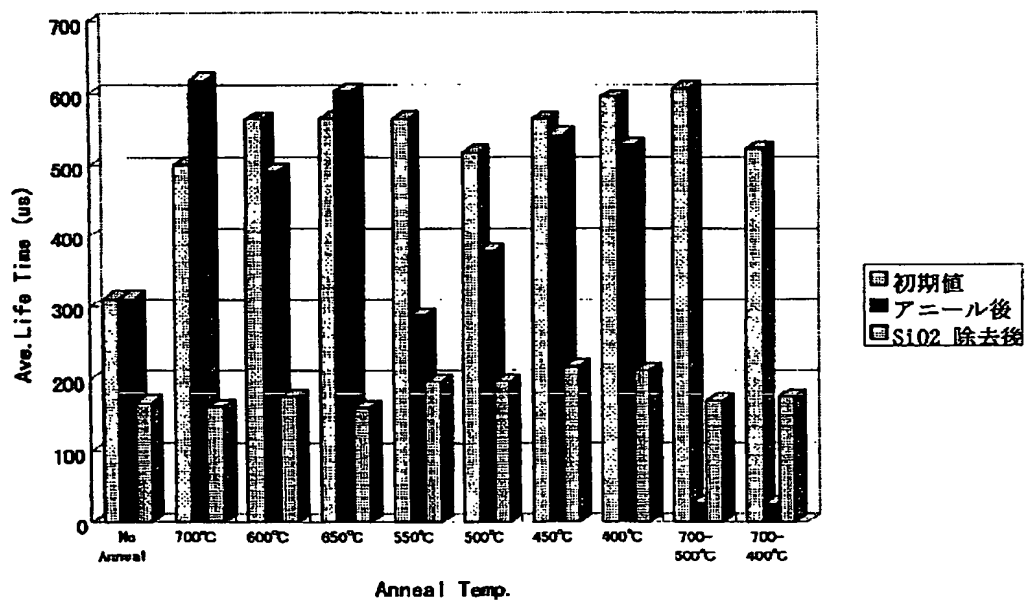
【図10】



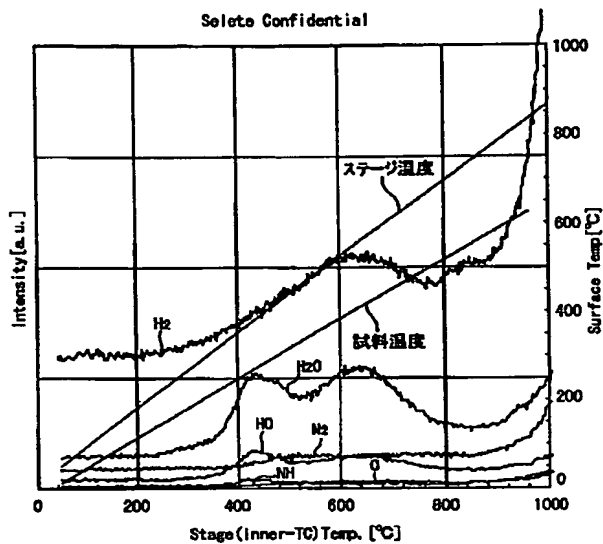
【図11】



【図12】

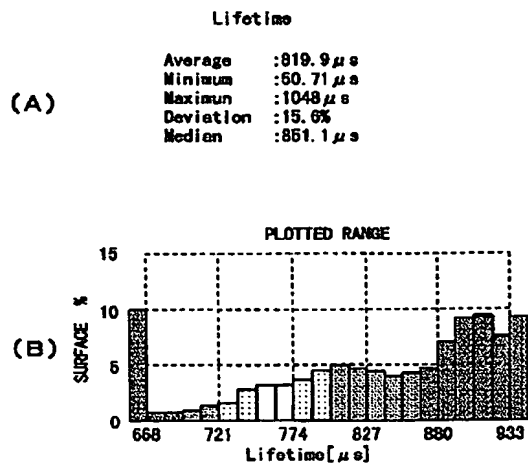


【図13】

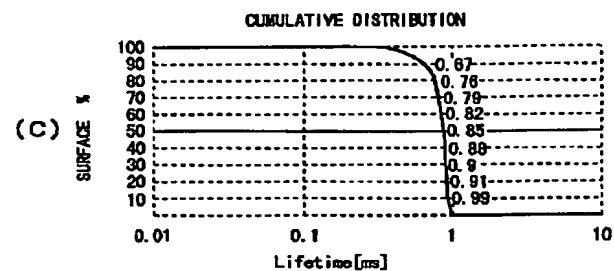


(A)

【図15】

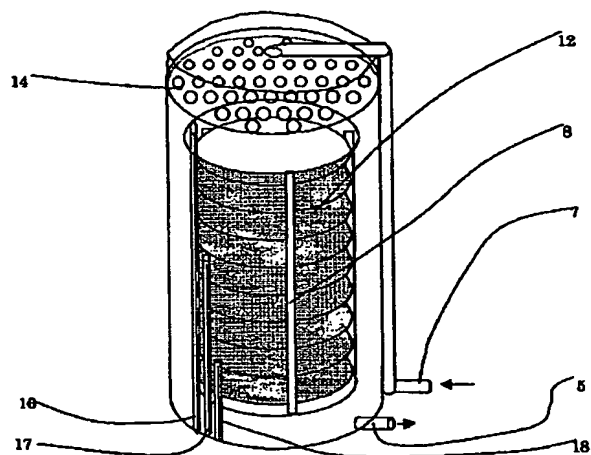


(B)



(C)

【図16】



【図17】

